



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 199 31 927 A 1**

⑤① Int. Cl. 7:  
**H 01 L 41/24**  
F 02 M 51/00  
H 02 N 2/04  
F 16 K 31/02

②① Aktenzeichen: 199 31 927:8  
②② Anmeldetag: 8. 7. 1999  
④③ Offenlegungstag: 9. 8. 2001

DE 199 31 927 A 1

⑦① Anmelder:  
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

⑦② Erfinder:  
Reschnar, Wilfried, 74360 Ilsfeld, DE; Henneken,  
Lothar, Dr., 40822 Mettmann, DE; Hackenberg,  
Juergen, Dr., 74343 Sachsenheim, DE

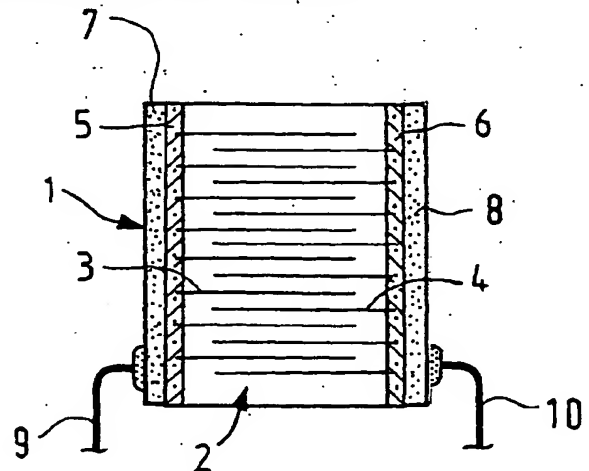
⑤⑥ Entgegenhaltungen:  
DE 42 24 284 A1  
JP 04-2 73 485 A  
Technische Rundschau, 1993, H.24, S.52-58;  
Technische Rundschau, 1973, Nr.18, S.25-31;

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Verfahren zur Herstellung von Piezoaktoren mit einem Vielschichtaufbau von Piezolagen

⑤⑦ Es wird ein Verfahren zur Herstellung eines Piezoaktors (1) mit einem Vielschichtaufbau von Lagen aus einer Piezokeramik (2) mit dazwischen angeordneten Innenelektroden (3, 4) vorgeschlagen. Die Innenelektroden (3, 4) sind wechselseitig seitlich an Außenelektroden (5, 6) kontaktiert. Die einzelnen Multilagen der Piezokeramik (4) werden durch Abrasiv-Wasserstrahlschneiden aus dem Grundmaterial der Piezokeramik (2) herausgetrennt. Die Piezokeramik kann hierbei bereits mit den Innenelektroden (3, 4) versehen und gesintert sein, wobei auch eine Fertigung von sog. Keramikriegeln möglich ist. Der vorgeschlagene Vielschicht-Piezoaktor (1) ist beispielsweise Bestandteil eines Einspritzsystems für Kraftstoff in einem Kraftfahrzeug mit Verbrennungsmotor.



DE 199 31 927 A 1

## Beschreibung

## Stand der Technik

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung von Piezoaktoren mit einem Vielschichtaufbau von Piezolagen, beispielsweise für einen Piezoaktor zur Betätigung eines mechanischen Bauteils wie ein Ventil oder dergleichen, nach den gattungsgemäßen Merkmalen des Hauptanspruchs.

Es ist allgemein bekannt, Piezoaktoren mit Piezoelementen zur Ausnutzung des sogenannten Piezoeffekts herzustellen, die aus einem Material mit einer geeigneten Kristallstruktur aufgebaut werden. Der Aufbau dieses Piezoaktors erfolgt hier in mehreren Schichten (Vielschicht-Piezoaktoren), wobei die Elektroden, über die die elektrische Spannung aufgebracht wird, jeweils zwischen den Schichten angeordnet werden. Diese Vielschicht-Piezoaktoren sind aus einem gesinterten Stapel dünner Folien aus Piezokeramik (z. B. Bleizirkonattitanat) mit den eingelagerten metallischen Innenelektroden (z. B. AgPd in Siebdrucktechnik) hergestellt. Die Innenelektroden sind wechselseitig aus dem Stapel herausgeführt und werden dort elektrisch kontaktiert.

Bei Anlage einer äußeren elektrischen Spannung erfolgt eine mechanische Reaktion des Piezoelements, die in Abhängigkeit von der Kristallstruktur und der Anlagebereiche der elektrischen Spannung einen Druck oder Zug in eine vorgebbare Richtung darstellt. Durch eine elektrische Aufladung der Piezokeramikstapel dehnen sich diese dabei aus oder ziehen sich zusammen. Der damit verbundene Hub der Piezokeramikstapel kann zum Schalten eines Ventils eingesetzt werden, beispielsweise zur Steuerung der Kraftstoffzufuhr in einem Verbrennungsmotor.

Beim Herstellungsprozess von Vielschicht-Piezoaktoren werden in herkömmlicher Weise zunächst Folien aus Piezokeramik gegossen. Über ein Siebdrucken der metallischen Innenelektroden, Laminieren mehrerer Folien, Pressen und Sintern entstehen dann größere Keramikriegel mit Multilagen aus Piezokeramik, aus denen einzelne Vielschicht-Piezoaktoren herausgetrennt werden. Für sich gesehen ist dabei bekannt, dass bei der Herstellung diese Keramikriegel mit einer Innenlochsäge in Einzelaktoren zerteilt und mit Schleifmitteln bearbeitet werden. Anschließend erfolgt eine Metallisierung zur elektrischen Kontaktierung der Aktoren. Hierzu werden die Vielschicht-Piezoaktoren an den Kontaktseiten mit einer fest haftenden aber flexiblen geschlossenen Grundmetallschicht versehen und über flexible, elektrisch leitende Materialien verbunden.

## Vorteile der Erfindung

Ein Verfahren zur Herstellung eines Piezoaktors mit einem Vielschichtaufbau von Multilagen aus einer Piezokeramik und mit dazwischen angeordneten Innenelektroden, die wechselseitig seitlich an Außenelektroden kontaktiert sind, wird in vorteilhafter Weise mit den Merkmalen des Kennzeichens des Anspruchs 1 weitergebildet. Erfindungsgemäß werden die einzelnen Multilagen der Piezokeramik durch Abrasiv-Wasserstrahl schneiden aus dem Keramikriegel herausgetrennt.

Hierbei ist es auf einfache Weise möglich die einzelnen Multilagen der Piezokeramik aus einem bereits mit den Innenelektroden versehenen und gesinterten Grundmaterial der Piezokeramik herauszutrennen.

Gemäß der Erfindung wird somit in vorteilhafter Weise das Herstellungsverfahren für die Vielschicht-Piezoaktoren dadurch wesentlich verbessert, dass die Bearbeitung der gesinterten Vielschicht-Piezokeramik durch Abrasiv-Was-

serstrahl schneiden vorgenommen wird. Durch dieses Verfahren lässt sich diese Piezokeramik leicht trennen, ohne dass es zur Beschädigung und Verschmierung der eingangs beschriebenen empfindlichen, eingelagerten Innenelektroden kommt. Auf das Nachbearbeiten durch Schleifen der Seitenflächen kann verzichtet werden.

Der zuvor genannte wichtige erfindungsgemäße Herstellungsschritt des Wasserstrahl schneidens stellt somit eine deutliche Verbesserung und Vereinfachung des gesamten Herstellungsprozesses von Vielschicht-Piezoaktoren dar. Folgeprobleme in der Fertigung der Vielschicht-Piezoaktoren, die durch das klassische Schneiden der Piezokeramik auftreten, werden hier vermieden. Die Gefahr, dass die Piezoaktoren zu hohe Kriechströme aufweisen oder durch Kurzschlüsse ausfallen, wird deutlich verringert.

Darüber hinaus kann auf der Basis der gewonnenen Fortschritte bei der Fertigungsplanung von einer Herstellung von Einzelaktoren auf eine Fertigung von sog. Keramikriegeln ausgedehnt werden. Bei Fertigung in Keramikriegeln kann das Trennen durch Wasserstrahl schneiden immer im letzten Prozessschritt erfolgen, also erst nach Metallisierung und elektrischer Kontaktierung. Eine aufwendige Handhabung von Einzelaktoren in der gesamten Prozesskette der Herstellung könnte somit unterbleiben, da diese einen hohen Ausschuss durch mechanische Beschädigung und chemische Einflüsse erwarten lässt.

Bei einer besonders bevorzugten Verwendung eines mit einem Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche hergestellten Vielschicht-Piezoaktors, ist der Vielschicht-Piezoaktor Bestandteil eines Einspritzsystems für Kraftstoff in einem Kraftfahrzeug mit Verbrennungsmotor. Die so hergestellten Vielschicht-Piezoaktoren können beispielsweise als schnelle Steller in Kraftstoff-Injektoren für Common Rail, PDE oder andere Benzineinspritzsysteme in Kraftfahrzeugen eingesetzt werden.

Diese und weitere Merkmale von bevorzugten Weiterbildungen der Erfindung gehen außer aus den Ansprüchen auch aus der Beschreibung und den Zeichnungen hervor, wobei die einzelnen Merkmale jeweils für sich allein oder zu mehreren in Form von Unterkombinationen bei der Ausführungsform der Erfindung und auf anderen Gebieten verwirklicht sein und vorteilhafte sowie für sich schutzfähige Ausführungen darstellen können, für die hier Schutz beansprucht wird.

## Zeichnung

Ein Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäß hergestellten Vielschicht-Piezoaktors wird anhand der Figur der Zeichnung erläutert, die einen Schnitt durch einen Mehrschichtaufbau des Piezoaktors zeigt.

## Beschreibung des Ausführungsbeispiels

In der einzigen Figur ist ein Vielschicht-Piezoaktor 1 gezeigt, der aus Lagen einer Piezofolie 2 aus einem Keramikmaterial mit einer geeigneten Kristallstruktur aufgebaut ist, so dass unter Ausnutzung des sogenannten Piezoeffekts bei Anlage einer äußeren elektrischen Spannung eine mechanische Reaktion des Piezoaktors 1 erfolgt.

Aus der Figur ist erkennbar, dass zwischen den Lagen der Piezofolie 2 sich Innenelektroden 3 und 4 befinden, die jeweils wechselseitig aus dem Lagenstapel herausgeführt sind. An den Seitenflächen des Lagenstapels sind die Innenelektroden dann jeweils mit Außenelektroden 5 oder 6 kontaktiert, die beim gezeigten Ausführungsbeispiel jeweils aus einer Nickel (Ni) oder Kupfer (Cu)-Schicht besteht. Die Innenelektroden 3 und 4 können z. B. aus ca. 5 µm dicken Sil-

ber-Palladium Schichten gebildet werden und mit ihnen wird das elektrische Feld im Inneren Lagenstapels des Vielschicht-Piezoaktors aufgebaut und verursacht den piezoelektrischen Effekt.

Die Seiten, an denen die jeweiligen Innenelektroden 3 oder 4 gemeinsam aus der Piezokeramik heraustreten, werden als L- oder R-Seite bezeichnet. Auf die Flächen dieser Seiten ist bei einem Herstellungsverfahren besonders zu achten, da durch leichte mechanische Beschädigung der Seiten ein Kurzschluß der Innenelektroden 3 oder 4 erzeugt werden kann. So könnten beispielsweise bei einer Verwendung einer Innenlochsäge zum Trennen der Piezokeramik 2 in Einzelaktoren Verschmierungen der Silber-Palladium-Schichten der Innenelektroden 3 oder 4 an den freigelegten L- bzw. R-Seiten auftreten, die zu hohen elektrischen Kriechströmen oder Kurzschlüssen und damit zu Fehlfunktionen des Piezoaktors 1 führen können.

Auf den Außenelektroden 5 und 6 befindet sich eine Lot-schicht 7 und 8, z. B. aus Weichlot (SnPb), an der sich wiederum die äußeren elektrischen Anschlüsse, beispielsweise den Pluspol 9 (P-Seite) und den Minuspol 10 (N-Seite), der Piezokeramik befinden.

Durch ein erfindungsgemäßes Abrasiv-Wasserstrahl-schneiden der Piezokeramik 2 in die Einzellagen, bzw. Einzelaktoren können hingegen saubere Schnittflächen der Piezokeramik 2 erzeugt werden; die keine verschmierten Bereich der Innenelektroden 3 und 4 aufweisen und damit sind die erwähnten Nachteile anderer Herstellungsverfahren vermeidbar.

Bei einer Fertigung in sogenannten Keramikriegeln für den Piezoaktor 1 kann das Trennen der Piezokeramik 2 durch Wasserstrahlschneiden im letzten Prozeßschritt erfolgen, also erst nach Metallisierung zur Erzeugung der Innenelektroden 3 und 4. Eine aufwendige Handhabung von Einzelaktoren in der gesamten Prozeßkette der Herstellung könnte somit unterbleiben, da diese einen hohen Ausschuß durch mechanische Beschädigung und chemische Einflüsse erwarten läßt. Durch eine Variation des Abrasivtyps (kleinere Körnung) beim Wasserstrahlschneiden läßt sich die Schnittqualität noch weiter verbessern. Das Verfahren eignet sich auch insbesondere zum Heraustrennen von Einzelaktoren aus bereits gesinterten Keramikriegeln.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines Piezoaktors (1) mit einem Vielschichtaufbau von Lagen aus einer Piezokeramik (2) und mit dazwischen angeordneten Innenelektroden (3, 4), die wechselseitig seitlich an Außenelektroden (5, 6) kontaktiert sind, **dadurch gekennzeichnet**, dass
  - die einzelnen Multilagen der Piezokeramik (4) durch Abrasiv-Wasserstrahlschneiden aus dem Grundmaterial der Piezokeramik (2) herausgetrennt werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass
  - die einzelnen Multilagen der Piezokeramik (4) aus einem mit den Innenelektroden (3, 4) versehenen und gesinterten Grundmaterial der Piezokeramik (2) herausgetrennt werden.
3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass
  - die einzelnen Multilagen der Piezokeramik (4) als Keramikriegel gefertigt werden.
4. Verwendung eines mit einem Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche hergestellten Vielschicht-Piezoaktors, **dadurch gekennzeichnet**, dass

– der Vielschicht-Piezoaktor (1) Bestandteil eines Einspritzsystems für Kraftstoff in einem Kraftfahrzeug mit Verbrennungsmotor ist.

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

